

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO MATOPIBA NOS ANOS DE 2002, 2012 E 2022

SPATIAL DISTRIBUTION OF ENVIRONMENTAL DEGRADATION IN MATOPIBA IN THE YEARS 2002, 2012 AND 2022

Phillipe Muniz Simas de Barros¹, Felipe Marques Prado², Gustavo Santana dos Santos³

Palavras-chave

Meio ambiente.
Análise espacial.
Produção agrícola.
Desenvolvimento sustentável.

Classificação JEL

O13.

Keywords

Environment.
Spatial analysis.
Agricultural production.
Sustainable development.

Resumo

Este estudo analisa a distribuição espacial da degradação ambiental na região do MATOPIBA durante os anos de 2002, 2012 e 2022, correlacionando-a com a produção agrícola. Utilizando dados do MapBiomas e do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), a pesquisa mapeou a degradação ambiental e sua correlação com a área colhida e o valor da produção agrícola nos municípios da região. A metodologia incluiu a análise de autocorrelação espacial das variáveis através do índice de Moran univariado e bivariado, identificando *clusters* espaciais significativos de degradação ambiental. Os resultados mostraram uma correlação positiva moderada entre a degradação ambiental e a atividade agrícola, destacando que a intensificação da agropecuária na região está associada a impactos ambientais negativos. As áreas de maior degradação concentram-se no sul do Maranhão e no oeste da Bahia. A análise espacial identificou "hotspots" de degradação, sugerindo a necessidade de intervenções específicas nessas áreas. A pesquisa destaca a importância de políticas públicas que conciliam o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis e a recuperação de áreas degradadas são recomendadas como estratégias para mitigar os impactos negativos da expansão agrícola. Este estudo contribui para o entendimento da dinâmica entre a produção agrícola e a degradação ambiental no MATOPIBA, fornecendo subsídios importantes para a formulação de políticas que promovam um desenvolvimento sustentável na região.

Abstract

This study analyzes the spatial distribution of environmental degradation in the MATOPIBA region during the years 2002, 2012, and 2022, correlating it with agricultural production. Using data from MapBiomas and the IBGE Automatic Recovery System (SIDRA), the research mapped environmental degradation and its correlation with harvested area and agricultural production value in the region's municipalities. The methodology included spatial autocorrelation analysis of the variables through univariate and bivariate Moran's Index, identifying significant spatial clusters of environmental degradation. Results showed a moderate positive correlation between environmental degradation and agricultural activity, highlighting that the intensification of agribusiness in the region is associated with negative environmental impacts. The highest degradation areas are concentrated in southern Maranhão and western Bahia. Spatial analysis identified "hotspots" of degradation, suggesting the need for targeted interventions in these areas. The study emphasizes the importance of public policies that reconcile economic development with environmental conservation. The adoption of sustainable agricultural practices and the restoration of degraded areas are recommended as strategies to mitigate the negative impacts of agricultural expansion. This research



¹ Graduação em Ciências Econômicas (UESC). ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7533-5990>. E-mail: phillipe.barros@hotmail.com

² Graduação em Ciências Econômicas (UESC). ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4039-0141>. E-mail: fmprado.ecn@uesc.br

³ Graduação em Ciências Econômicas (UESC). ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6151-096X>. E-mail: gssantos.ecn@uesc.br

contributes to the understanding of the dynamics between agricultural production and environmental degradation in MATOPIBA, providing important insights for policy formulation aimed at promoting sustainable development in the region.

Recebido em: 31/10/2024
Aceito em: 22/07/2025
Publicado em: 30/11/2025

DOI: <https://doi.org/10.36113/rec.v9i0.4523>

1. INTRODUÇÃO

Durante a década de 1970, o cerrado brasileiro sofreu intensa exploração agrícola e pecuária, com a expansão inicial concentrando-se no estado de Mato Grosso, que era então considerado a fronteira agrícola do país. Com o desenvolvimento das cidades e o fortalecimento das culturas locais, novas áreas começaram a ser exploradas, destacando-se a antiga vila de Mimoso do Oeste, próxima à cidade de Barreiras, na Bahia. Ao longo do tempo, os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia emergiram como centros da agropecuária, sendo coletivamente conhecidos como MATOPIBA (Horvat; Watanabe; Yamaguchi, 2015).

A sigla MATOPIBA é formada por um acrônimo das iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, referindo-se a uma delimitação geográfica que inclui completamente o estado de Tocantins e parcialmente os outros três estados. Essa demarcação se destaca pela expansão significativa de uma fronteira agrícola que emprega tecnologias de alta produtividade (Miranda; Magalhães; Carvalho, 2014). O reconhecimento oficial do MATOPIBA como região ocorreu através do decreto nº 8.447 de 6 de maio de 2015 (Brasil, 2015), que estabeleceu o Plano de Desenvolvimento Agropecuário para o MATOPIBA. O objetivo desse plano era impulsionar e coordenar políticas públicas voltadas para o crescimento econômico sustentável baseado nas atividades agropecuárias.

Nos últimos vinte anos, houve uma considerável elevação na produção de soja na região, impulsionada pelo crescimento da área cultivada e pelo aumento da eficiência produtiva (Sá; Moraes; Campos, 2015 *apud* Ribeiro *et al.*, 2020). Esse processo resultou em um aumento significativo do Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios do MATOPIBA. No entanto, segundo os autores acima, a riqueza gerada pela agropecuária se concentra em um pequeno grupo, impossibilitando a maioria dos habitantes das cidades da região de usufruir dos benefícios econômicos advindos da atividade agropecuária.

Esse cenário de crescimento econômico contrasta com as crescentes preocupações ambientais. A expansão agrícola intensiva tem resultado em significativos impactos ambientais, especialmente em termos de desmatamento e degradação de vegetação nativa. Barros e Stege (2019) investigaram a relação entre desenvolvimento humano e desmatamento na região do MATOPIBA, utilizando Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e modelos espaciais. Eles identificaram uma Curva Ambiental de Kuznets (CAK) em formato de "U" invertido, onde o desmatamento aumenta até um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,57 e depois diminui. Fatores como expansão agrícola, densidade demográfica, rebanho bovino e infraestrutura viária impactam significativamente o desmatamento.

Lima *et al.* (2024) examinaram a transformação do uso da terra na região do MATOPIBA entre 1985 e 2019, utilizando dados da plataforma MapBiomas e testes estatísticos. Eles descobriram uma tendência de perda de vegetação nativa, especialmente entre 2000 e 2004, associada à expansão da soja. Tocantins foi o estado com maior perda de cobertura vegetal, ressaltando que a expansão agrícola é um fator chave na degradação ambiental. Esses estudos indicam a necessidade de políticas públicas que promovam o desenvolvimento sustentável, equilibrando a produção agrícola com a conservação ambiental.

Este estudo tem como objetivo analisar a distribuição espacial da degradação ambiental na região do MATOPIBA nos anos de 2002, 2012 e 2022, investigando também uma possível relação entre a mesma e a produção agrícola na região. Especificamente, busca-se mapear a distribuição espacial da degradação ambiental e a sua correlação espacial com a área colhida e o valor da produção agrícola nos municípios do MATOPIBA; avaliar a autocorrelação espacial dessas variáveis utilizando o índice de Moran univariado e bivariado e identificar *clusters* espaciais significativos de degradação ambiental bem como os resultantes da análise bivariada da mesma com área colhida e valor da produção agrícola.

Esta pesquisa é justificada por alguns fatores. O MATOPIBA é vista como a nova fronteira agrícola do Brasil, devido à sua vasta extensão de terras agricultáveis e ao potencial para expansão da produção agrícola; em 2023, o MATOPIBA superou a Amazônia em taxas de desmatamento, com 61% do desmatamento do Brasil ocorrendo no Cerrado, um bioma de alta biodiversidade; o MATOPIBA, é um dos principais centros da agropecuária no Brasil, e pelo uso inédito (até o presente momento) do indicador de degradação ambiental que foi recentemente lançado pela plataforma Mapbiomas. Identificar esses efeitos é fundamental para orientar políticas públicas que promovam um desenvolvimento sustentável, garantindo que o crescimento econômico não ocorra à custa da degradação ambiental. Este estudo, portanto, busca contribuir para um entendimento mais profundo dessa dinâmica, trazendo luz a essa relação muitas vezes conflitante de produção agrícola como oposição à conservação do meio ambiente.

2. METODOLOGIA

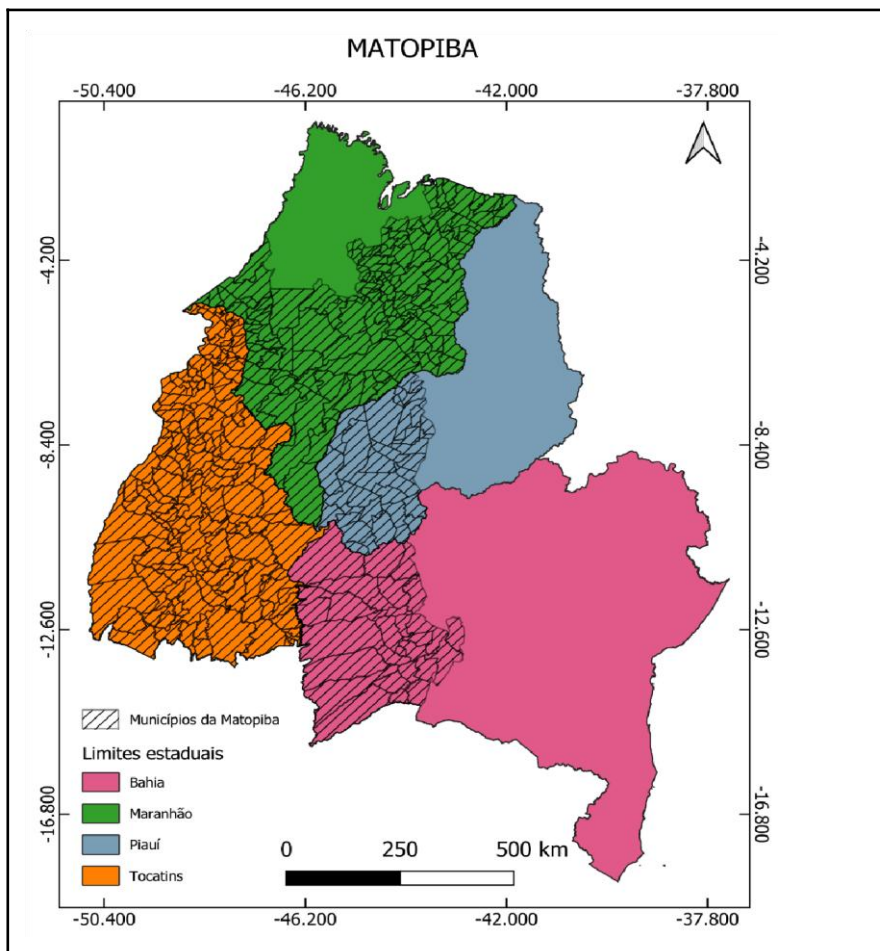
2.1 Caracterização do MATOPIBA

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o território conhecido como MATOPIBA está localizado principalmente no bioma Cerrado, abrangendo cerca de 66,5 milhões de hectares, o que corresponde a 91% de sua área total. Outros 7,3% (5,3 milhões de hectares) estando no bioma Amazônico, enquanto 1,7% (1,2 milhão de hectares) pertencem à Caatinga. A localização do MATOPIBA em latitudes baixas e áreas de baixa altitude resulta em temperaturas elevadas na maior parte da região, com exceção do oeste baiano, onde a altitude mais elevada proporciona um clima ligeiramente mais ameno.

O clima predominante no MATOPIBA é o tropical semiúmido, cobrindo aproximadamente 78% do território. Nessa área, a temperatura média se mantém acima de 18°C durante todo o ano, com períodos secos de 4 a 7 meses, geralmente no inverno, caracterizando uma alternância entre estações úmidas e secas, típica do Cerrado. Já na parte leste da região, as condições climáticas se tornam mais áridas, aproximando-se do clima semiárido da Caatinga, com baixos índices de umidade, precipitações reduzidas e até 7 meses secos, mantendo temperaturas acima de 18°C durante todos os meses. No oeste, a umidade é maior, com mais chuvas, estação seca menos prolongada e déficits hídricos anuais menores.

De acordo com Belchior, Alcantara e Barbosa (2017), o MATOPIBA cobre 31 microrregiões e 337 municípios, totalizando uma área de aproximadamente 73.173.485 hectares. Dentro desse território, há cerca de 324.326 estabelecimentos agrícolas, distribuídos nos quatro estados (Figura 1), abrangidos da seguinte forma: Maranhão com 33% (15 microrregiões, 135 municípios e 23.982.346 hectares), Tocantins com 38% (8 microrregiões, 139 municípios e 27.772.052 hectares), Piauí com 11% (4 microrregiões, 13 municípios e 8.204.588 hectares) e Bahia com 18% (4 microrregiões, 30 municípios e 13.214.499 hectares).

Figura 1 - Localização geográfica do MATOPIBA



Fonte: Elaborado com base em IBGE (2022).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a região do MATOPIBA apresentava, em 2021, um PIB de aproximadamente R\$ 166 bilhões, enquanto R\$ 50 bilhões diziam respeito à produção agropecuária da região, equivalente a aproximadamente 30,1% do PIB total. A região possui uma diversidade de biomas, predominantemente o Cerrado, mas também com áreas de transição para a Amazônia e a Caatinga. O Cerrado é conhecido por suas formações de savanas e campos, abrigando uma rica biodiversidade.

Entretanto, essa região tem enfrentado uma intensa degradação ambiental. Em 2023, o Cerrado correspondeu a 61% da área desmatada em todo o país e a Amazônia por 25%. Foram 1.110.326 hectares desmatados no Cerrado, um crescimento de 68% em relação a 2022, quando aproximadamente 661.110 hectares haviam sido desmatados. Quase todo o desmatamento do país (97%) teve a expansão agropecuária como vetor (MapBiomias, 2024).

A degradação ambiental no MATOPIBA resulta na perda de vegetação nativa, afetando a biodiversidade local e os serviços ecossistêmicos. Além disso, apenas 4,04% da área desmatada nos últimos cinco anos não apresentaram indícios de ilegalidade, apontando para a prevalência de práticas ilegais no desmatamento (MapBiomias, 2024).

2.2 Procedimentos metodológicos

Para este estudo, foram utilizados dados de degradação ambiental obtidos da plataforma MapBiomias e dados de área colhida e valor de produção agrícola do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Os dados do MapBiomias foram baixados para os anos de 2002, 2012 e 2022 e processados utilizando a linguagem de programação *Python* para gerar mapas temáticos, através da biblioteca *Geopandas*.

Os dados de degradação ambiental são compostos pelo tamanho e o isolamento dos fragmentos de vegetação nativa, a sua área de borda, a frequência do fogo, o tempo desde a última queimada e a idade da vegetação secundária (Alencar; Azevedo; Conciani, 2024). Essas variáveis são descritas no Quadro 1.

Os dados obtidos do SIDRA foram organizados em uma base de dados tabular e vinculados aos respectivos municípios, garantindo compatibilidade espacial entre os dados de degradação e os dados de área plantada, área destinada à colheita e valor de produção através de operações de junção espacial.

No estudo, utilizou-se o *Python*, uma linguagem de programação, com o auxílio do VSCode, um editor de código, para realizar as análises espaciais, utilizando da biblioteca *PySal*. Inicialmente, o Índice de Moran Univariado Local foi aplicado para avaliar a autocorrelação espacial de variáveis como o desmatamento e indicadores econômicos de forma individual. Esse índice permite identificar *clusters* espaciais de valores semelhantes (alta-alta, baixa-baixa) e *outliers* espaciais (alta-baixa, baixa-alta), o que é essencial para compreender a distribuição espacial dos fenômenos.

Além disso, foi utilizado o Índice de Moran Bivariado para examinar a relação espacial entre duas variáveis distintas, como a área colhida e a degradação ambiental. A análise

bivariada possibilitou identificar áreas onde existe uma correlação espacial significativa entre essas variáveis, fornecendo *insights* valiosos sobre a interação entre diferentes fatores socioambientais.

Quadro 1 - Composição da degradação ambiental

Área de borda	São regiões de vegetação nativa que estão em contato com áreas antrópicas*, sofrendo com ventos, radiação solar e agrotóxicos. Estas áreas têm maior taxa de predação e são mais suscetíveis a incêndios provocados por humanos.
Tamanho do fragmento	Refere-se à área de um fragmento de vegetação nativa. Fragmentos menores apresentam maior risco de extinções locais e são mais afetados pelos efeitos de borda, prejudicando a biodiversidade
Isolamento	Avalia a distância entre fragmentos de vegetação, influenciando a conectividade ecológica. Fragmentos isolados não recebem novos indivíduos, afetando negativamente a biodiversidade. Fatores como o tamanho dos fragmentos fonte, a distância entre fragmentos e o tamanho dos fragmentos alvo determinam o grau de isolamento.
Frequência do fogo e Tempo desde o último fogo	A frequência indica quantas vezes uma área foi queimada entre 1986 e 2021 já o último fogo revela quando ocorreu o último evento de queimada na área. Ecossistemas não adaptados ao fogo, como florestas, sofrem degradação significativa, enquanto savanas e campos têm uma adaptação histórica ao fogo.
Idade da vegetação secundária	Refere-se ao tempo de regeneração de uma área desmatada. Vegetações secundárias mais antigas são menos suscetíveis à degradação, apresentando maior diversidade e complexidade estrutural.

Fonte: Elaborado com base em Alencar, Azevedo e Conciani (2024).

Nota: * Áreas antrópicas são regiões alteradas pela ação humana, como cidades, fazendas ou estradas.

Para garantir a robustez da análise, a matriz de pesos espaciais foi definida após testar diferentes configurações. Optou-se pelo critério $k=4$, que apresentou o maior valor no Índice de Moran. Esse critério considera os quatro municípios mais próximos de cada município na construção da matriz de pesos espaciais, garantindo uma análise representativa dos padrões espaciais.

Os resultados dos Índices de Moran Univariado e Bivariado foram visualizados por meio de mapas de *clusters* e *outliers* gerados com bibliotecas *Python*, revelando as localizações geográficas onde os padrões espaciais se mostram significativos. Esses mapas auxiliaram na interpretação das relações espaciais, permitindo uma discussão detalhada sobre os padrões observados, considerando as características socioeconômicas e ambientais das regiões analisadas. Também foram exploradas possíveis explicações para os padrões observados, com ênfase na sua relevância para a formulação de políticas de gestão territorial e ambiental.

A equação 1 apresenta o Índice de Moran Univariado (I), usada para medir a autocorrelação espacial de uma única variável. Verifica se valores altos ou baixos de uma

variável em diferentes regiões estão espacialmente próximos, formando padrões de agrupamento (*clusters*) ou dispersão (Araújo; Uribe-Opazo; Johann, 2014).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_i z_j w_{ij}}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i} \quad (1)$$

Onde:

n: Número total de áreas (municípios ou regiões).

$z_i = x_i - \bar{x}$: Diferença entre o valor da variável x na área i e a média \bar{x} dos valores observados.

w_{ij} : Elemento da matriz de proximidade W, que indica a relação espacial entre as áreas i e j.

$w_{ij} = 1$: se as áreas são vizinhas, e $w_{ij} = 0$: caso contrário.

S_0 : Soma total dos pesos espaciais, calculada como:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

Já a equação 2 apresenta o Índice de Moran Bivariado (I_{xy}) que mede a autocorrelação espacial entre duas variáveis distintas. O Índice de Moran Bivariado é útil para entender como a distribuição espacial de uma variável influencia ou está associada à distribuição de outra variável. Por exemplo, pode ser utilizado para analisar a relação entre produtividade agrícola e precipitação em diferentes regiões (Araújo; Uribe-Opazo; Johann, 2014).

$$I_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_i z_j w_{ij}}{S_0 \sqrt{S_u^2 S_z^2}} \quad (2)$$

Onde:

n: Número total de áreas (municípios ou regiões).

$u_i = y_i - \bar{y}$: Diferença entre o valor da variável Y na área i e a média \bar{y} .

$z_j = x_j - \bar{x}$: Diferença entre o valor da variável X na área j e a média \bar{x} .

w_{ij} : Elemento da matriz de proximidade W, que indica a relação espacial entre as áreas i e j.

S_0 : Soma total dos pesos espaciais.

S_u^2 : Variância da variável Y, calculada como: $S_u^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$.

S_z^2 : Variância da variável X, calculada como: $S_z^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os testes realizados, tanto nas análises univariadas quanto nas bivariadas, para avaliar a presença de autocorrelação espacial nos dados apresentaram um pseudo p-valor de 0,001, sugerindo uma significância estatística extremamente alta. Adicionalmente, os z-valores calculados foram todos superiores a 2,5. O pseudo p-valor de 0,001 indica que há menos de 0,1% de chance de que os padrões observados tenham ocorrido por acaso, confirmando a robustez dos resultados. Os z-valores superiores a 2,5 reforçam a presença de uma autocorrelação espacial positiva altamente significativa, indicando que as observações similares tendem a se agrupar espacialmente.

3.1 Análise Univariada

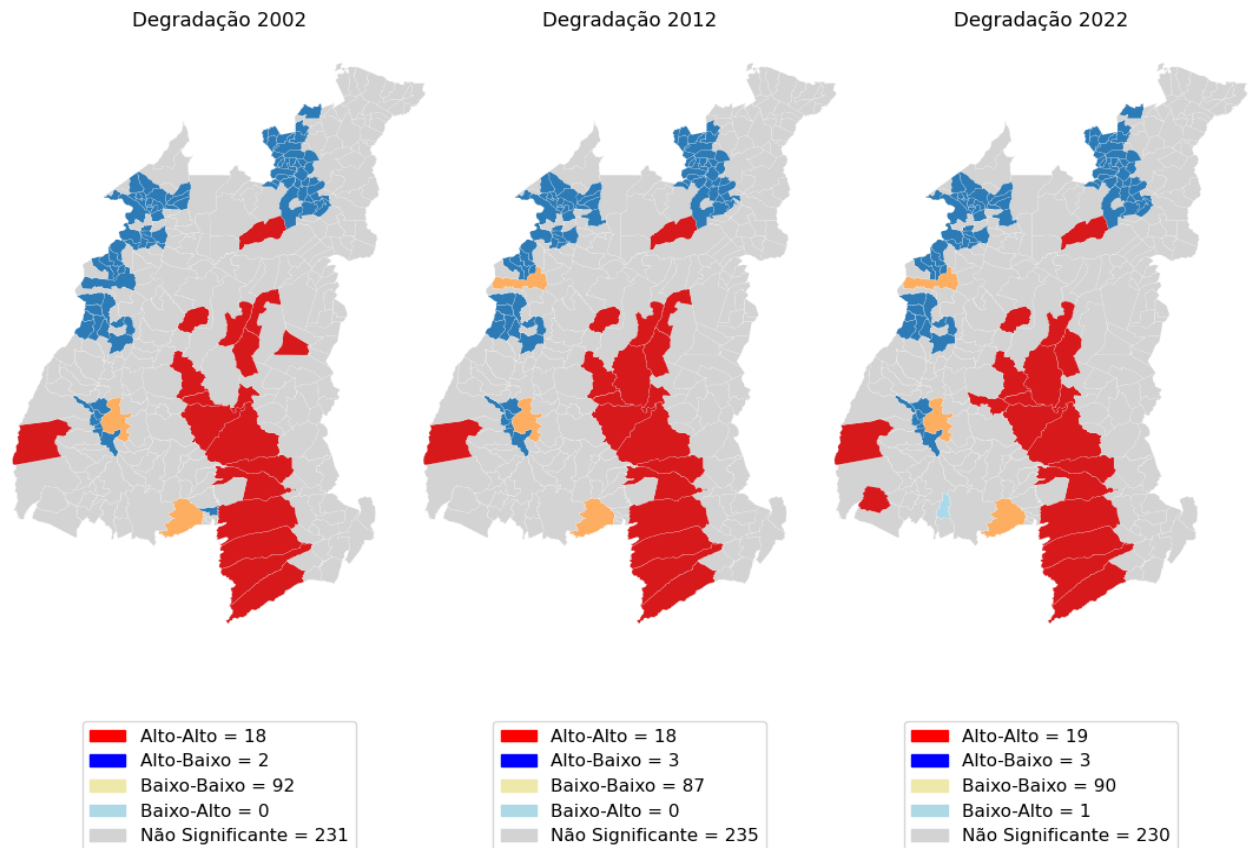
Para interpretar o mapa de agrupamentos espaciais gerado pelo Índice de Moran, considera-se as seguintes categorias: áreas não significativas (cinza) indicam regiões onde não há uma associação espacial significativa da degradação ambiental; áreas Alto-Alto (vermelho) representam regiões com alto nível de degradação ambiental cercadas por outras áreas com altos níveis de degradação, identificando "hotspots" de degradação; áreas Baixo-Baixo (amarelo) mostram regiões com baixos níveis de degradação ambiental cercadas por outras áreas com baixos níveis de degradação, indicando zonas bem preservadas; áreas Baixo-Alto (azul claro) representam regiões com baixos níveis de degradação cercadas por áreas com altos níveis de degradação; e áreas Alto-Baixo (azul) mostram regiões com altos níveis de degradação cercadas por áreas com baixos níveis de degradação.

No tocante ao diagrama de dispersão gerado pelo Índice de Moran (I), ele permite visualizar a autocorrelação espacial, representando a relação entre os valores observados de uma variável espacial e seus respectivos valores esperados. O eixo X exibe os valores observados, enquanto o eixo Y mostra os valores esperados, com a linha azul indicando a hipótese de ausência de autocorrelação ($I = 0$) e a linha preta refletindo a tendência geral dos dados. O gráfico é dividido em quatro quadrantes: o quadrante **alto-alto** está no canto superior direito; o quadrante **alto-baixo**, no canto superior esquerdo; o quadrante **baixo-alto**, no canto inferior direito; e o quadrante **baixo-baixo**, no canto inferior esquerdo. A linha vermelha define um limite de significância, além do qual a autocorrelação é considerada estatisticamente relevante.

Em 2002, o município de Formosa do Rio Preto registrou o maior valor de degradação, alcançando 1.318.938,65, enquanto Novo Alegre apresentou o menor valor, com 4.066,53. A média de degradação para a região do MATOPIBA foi de 164.504,14. O mapa de agrupamentos espaciais, situado na Figura 2, gerado pelo Índice de Moran revelou que, nesse ano, 231 municípios foram classificados como "não significativos", indicando a ausência de uma associação espacial relevante entre os níveis de degradação nesses locais.

Foram identificados 18 municípios na categoria Alto-Alto, caracterizados por elevados índices de degradação, cercados por outras áreas igualmente degradadas, concentrando-se principalmente no sul do Maranhão, incluindo municípios ao longo da divisa com o Tocantins, e no extremo oeste da Bahia, próximo à divisa com Tocantins e Goiás. Esse padrão de degradação acentuada coincide com as áreas de expansão da agropecuária na região, conforme discutido por Lima *et al.* (2024), que destacam uma forte correlação entre a expansão da soja e a perda de vegetação nativa no MATOPIBA. Machado (2012) também aponta que o desmatamento e as queimadas, frequentemente associadas à pecuária extensiva, são responsáveis por grandes transformações no ecossistema local. No entanto, os estudos de Freitas e Silva (2013) evidenciam que, desde a safra 2005/2006, a expansão da soja no Maranhão intensificou o desmatamento e o uso do fogo, impactando significativamente o bioma Cerrado, como evidenciado pelo aumento de 346% nos focos de queimadas entre 2008 e 2012.

Figura 2 – Mapa de agrupamento LISA de degradação ambiental para os anos de 2002, 2012 e 2022, respectivamente



Fonte: Elaborado com base em IBGE (2022).

Em contrapartida, 92 municípios foram classificados como Baixo-Baixo, com baixos níveis de degradação cercados por outras áreas preservadas, localizadas principalmente no norte e nordeste do Tocantins, algumas áreas do sudeste do Piauí, próximas à divisa com o Maranhão, e no oeste da Bahia. Estas zonas bem preservadas, como observadas por Barros e Stege (2019), correspondem a áreas onde a pressão da agropecuária ainda é menos intensificada. Contudo, os dados de Freitas e Silva (2013) e Machado (2012) alertam para a necessidade urgente de políticas públicas estaduais e municipais para conter a expansão descontrolada e os danos ambientais causados por práticas agrícolas intensivas nessas zonas.

Em 2012, Formoso do Araguaia registrou o maior valor de degradação, com 1.097.889,58, enquanto Novo Alegre apresentou o menor valor, com 3.302,33. A média de degradação para a região foi de 151.524,60. Para este ano, o mapa de agrupamentos espaciais indicou que 235 municípios permaneceram na categoria "não significativos", sugerindo que a relação entre as atividades agrícolas e a degradação ambiental ainda não estava bem definida na maioria dos municípios. Houve manutenção no número de municípios na categoria Alto-Alto. O número de municípios classificados como Baixo-Baixo diminuiu para 87, o que ainda indica a persistência de zonas preservadas, mas com uma gradual expansão das práticas

agrícolas intensivas nas áreas adjacentes. Freitas e Silva (2013) já destacavam que a fronteira agrícola no MATOPIBA está em crescimento contínuo, o que pode resultar em pressões ambientais mais intensas no futuro.

Em 2022, Formoso do Araguaia registrou o maior valor de degradação, com 1.061.171,84, enquanto Bom Lugar apresentou o menor valor, com 1.953,37. A média de degradação para a região foi de 136.870,51. Para esse ano, o mapa de agrupamentos espaciais revelou que 230 municípios foram classificados como "não significativos", refletindo uma predominância de ausência de relação significativa com a degradação ambiental, mas também sugerindo que a expansão agrícola começou a estabilizar-se em algumas áreas. Contudo, houve um aumento para 19 municípios na categoria Alto-Alto, sinalizando uma intensificação dos focos de degradação, especialmente em áreas agrícolas, o que pode ser explicado pelo aumento da produção de soja e outros grãos, conforme descrito por Lima *et al.* (2024) e o aumento na quantidade de zonas bem preservadas (classificadas como Baixo-Baixo), de 87 para 90, estão alinhados com o que Klink e Machado (2005) apontam sobre a necessidade urgente de políticas públicas de conservação no Cerrado, que promovam a preservação da biodiversidade nas zonas agrícolas e ao redor delas. Essas políticas devem ser mais intensas em áreas onde a degradação é mais acentuada, como no sul do Maranhão, o que também reflete os achados de Barros e Stege (2019), que discutem como as políticas de desenvolvimento regional no MATOPIBA têm incentivado a agricultura intensiva sem considerar totalmente seus impactos ambientais.

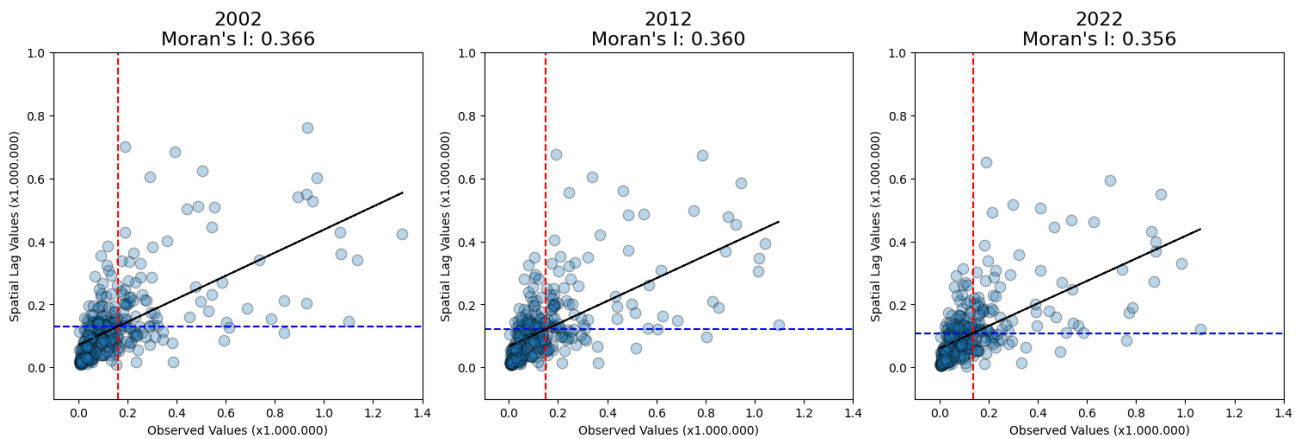
O diagrama de dispersão do Índice de Moran, representado na Figura 3, para 2002 indicou uma autocorrelação espacial positiva moderada (Moran's I = 0,366). A maioria dos pontos estava concentrada ao redor do centro, sugerindo que muitos municípios não apresentavam uma autocorrelação espacial forte entre os níveis de degradação ambiental. Isso indica que, em 2002, a relação entre os níveis de degradação ambiental era moderada, com alguns municípios apresentando altos ou baixos valores próximos uns dos outros. Foram localizados apenas dois *outliers*, classificados como Alto-Baixo, sendo eles os municípios de Porto Nacional e Arraias.

Em 2012, o diagrama de dispersão apresentou um valor de Moran's I ligeiramente inferior a 2002, com 0,360. A autocorrelação espacial positiva moderada continuou a ser observada, com a maioria dos pontos concentrada ao redor do centro. A semelhança na distribuição dos pontos entre 2002 e 2012 sugere uma persistência na relação espacial entre os níveis de degradação ambiental, embora tenha havido uma pequena diminuição na intensidade dessa relação. Foram localizados apenas três *outliers*, classificados como Alto-Baixo, sendo eles os municípios de Porto Nacional e Arraias, que já constavam no mapa de 2002, mas com adição de Araguaína.

O diagrama de dispersão do Índice de Moran para 2022 mostrou um valor de Moran's I = 0,356, indicando uma autocorrelação espacial positiva moderada, ligeiramente menor do que em 2012. A distribuição dos pontos permaneceu concentrada ao redor do centro, mas com alguns pontos mais dispersos, sugerindo uma leve intensificação da relação espacial entre os níveis de degradação ambiental. Esta mudança pode indicar que, ao longo do tempo,

a associação espacial entre os níveis de degradação ambiental tem se tornado um pouco mais evidente em alguns municípios. Foram localizados apenas três *outliers*, sendo eles os mesmos do ano de análise anterior.

Figura 3 – Diagrama de dispersão de Moran de degradação ambiental para os anos de 2002, 2012 e 2022, respectivamente



Fonte: Elaborado com base em IBGE (2022).

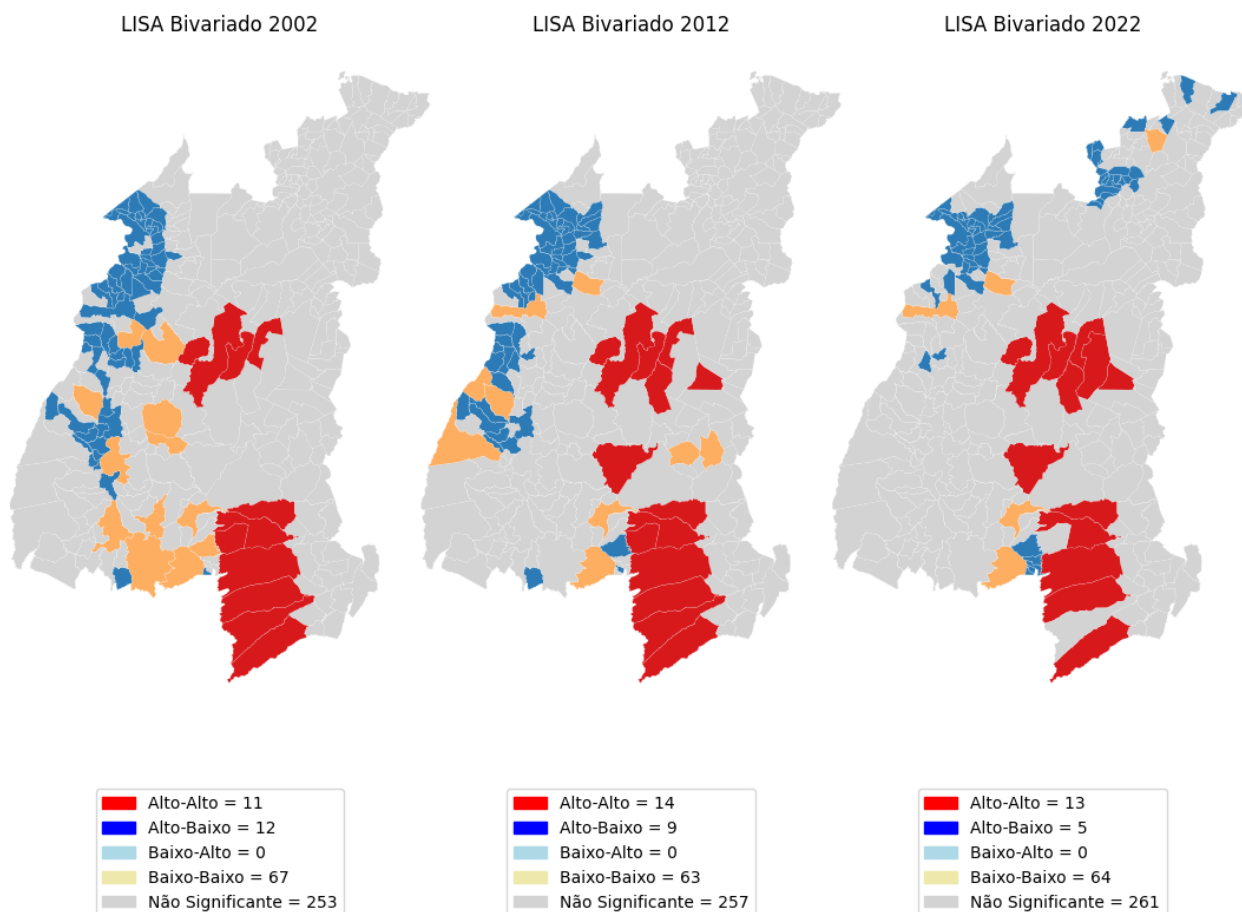
3.2 Análise Bivariada

Em 2002, o mapa de agrupamentos espaciais, demonstrado na Figura 4, gerado pelo Índice de Moran revelou que 253 municípios foram classificados como "não significativos", indicando que não havia uma associação espacial significativa entre degradação ambiental e área plantada nesses locais. Essa ausência de correlação é consistente com os achados de Freitas e Silva (2013), que destacam que, em muitas áreas, a expansão agrícola ainda não se correlaciona diretamente com a degradação ambiental devido à presença de políticas públicas de controle e à diversidade de práticas agrícolas. Foram identificados 11 municípios como Alto-Alto, caracterizados por altos níveis de degradação ambiental e alta área plantada, configurando "*hotspots*" de intensificação agrícola associada à degradação ambiental. Esses resultados estão alinhados com a pesquisa de Lima *et al.* (2024), que demonstram que a expansão da soja e a intensificação da pecuária no MATOPIBA têm sido as principais responsáveis por esse padrão de degradação acelerada, particularmente em regiões de maior pressão agrícola. Além disso, 67 municípios foram classificados como Baixo-Baixo, apresentando baixos níveis de degradação ambiental e baixa área plantada, sugerindo zonas bem preservadas. Este padrão de preservação é similar ao que Barros e Stege (2019) identificam como regiões que ainda não foram significativamente impactadas pela fronteira agrícola e onde as práticas sustentáveis podem estar em curso.

Não foram identificados municípios na categoria Baixo-Alto. Foram identificados 12 municípios como Alto-Baixo, com altos níveis de degradação ambiental e baixa área plantada, indicando possíveis anomalias ou fatores não relacionados diretamente à atividade agrícola, como a presença de queimadas não controladas ou práticas de manejo inadequadas.

Machado (2012) aponta que em muitas regiões do Cerrado, a pecuária extensiva e o uso do fogo como prática de limpeza do solo, sem a devida consideração para a regeneração do ecossistema, podem ser responsáveis por esses padrões de degradação.

Figura 4 – Mapa de agrupamento LISA de degradação ambiental x área colhida para os anos de 2002, 2012 e 2022, respectivamente



Fonte: Elaborado com base em IBGE (2022) e MapBiomias (2022).

Em 2012, o mapa de agrupamentos espaciais mostrou 257 municípios classificados como "não significativos", mantendo a tendência de uma relação não significativa entre degradação ambiental e área plantada na maioria das regiões. Esse padrão sugere que, apesar da expansão das lavouras, ainda existem áreas onde as práticas agrícolas não resultam em impactos ambientais diretos ou de grande escala, como observado por Klink e Machado (2005), que discutem a importância de melhorar as práticas de monitoramento e controle para evitar impactos mais severos. Houve um aumento para 14 municípios na categoria Alto-Alto, indicando uma intensificação dos focos de degradação associada à alta área plantada. Freitas e Silva (2013) também relatam esse fenômeno no Maranhão, onde o aumento da área plantada, especialmente com soja, tem levado ao aumento da degradação, com destaque para os focos de queimada. O número de municípios classificados como Baixo-Baixo diminuiu para 63, ainda sugerindo zonas relativamente bem preservadas, mas com sinais de pressão devido à expansão agrícola. Não foram identificados municípios na categoria Baixo-Alto, e

houve uma leve diminuição para 9 municípios na categoria Alto-Baixo, sugerindo que, embora o impacto ambiental tenha se intensificado, ele não está totalmente correlacionado com a área plantada.

Em 2022, o mapa de agrupamentos espaciais identificou 261 municípios como "não significativos", ligeiramente maior que em 2012, mas ainda refletindo uma predominância de ausência de relação significativa entre degradação ambiental e área plantada. Esse fenômeno, de acordo com Barros e Stege (2019), pode indicar que políticas de mitigação, como o monitoramento por satélite e o controle de desmatamento, ainda têm algum sucesso em impedir uma correlação direta entre aumento da área plantada e degradação. Houve uma diminuição para 13 municípios na categoria Alto-Alto, indicando uma redução nas áreas com alta concentração simultânea de degradação ambiental e área plantada. Esse recuo pode refletir uma desaceleração na conversão de áreas nativas para a agricultura em determinadas regiões. O número de municípios classificados como Baixo-Baixo aumentou para 64, indicando uma recuperação ou preservação de uma nova zona, que pode ser atribuída a políticas de conservação mais eficazes ou a áreas de menor pressão agrícola. Nenhum município foi identificado na categoria Baixo-Alto, mantendo o padrão observado nos anos anteriores. Isso sugere que ainda não há evidências de áreas com baixa degradação ambiental associada à alta área plantada, o que reforça a tendência de que o avanço agrícola costuma estar vinculado a níveis mais elevados de degradação. Houve uma leve diminuição para 5 municípios na categoria Alto-Baixo, sugerindo uma pequena estabilização nas áreas de maior degradação.

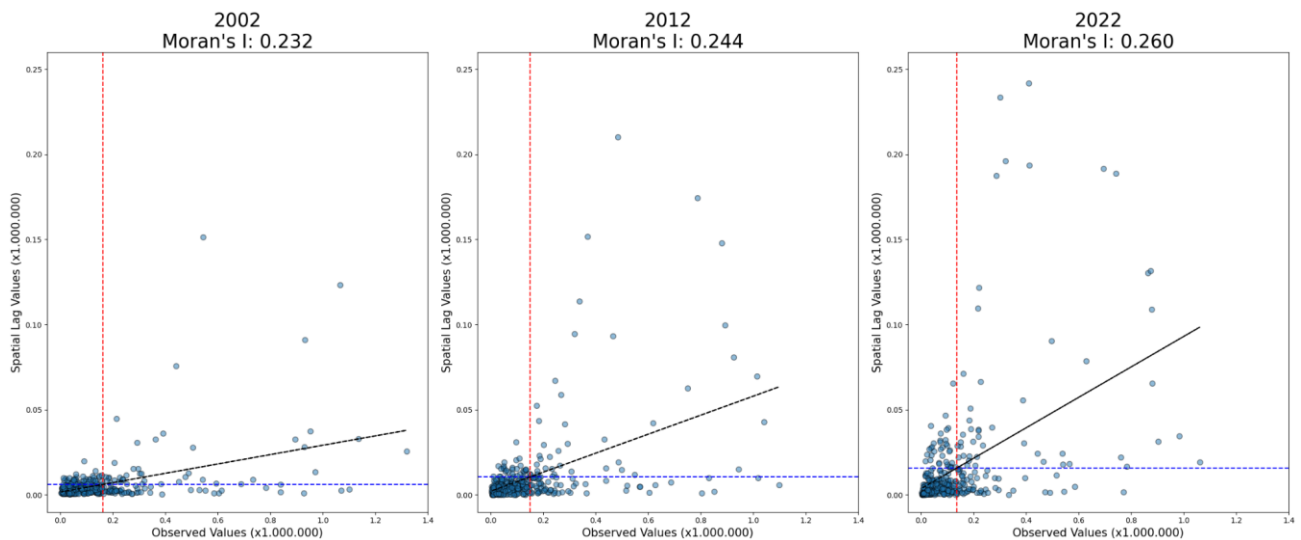
O diagrama de dispersão, presente na Figura 5, do Índice de Moran para 2002 indicou uma autocorrelação espacial positiva moderada (Moran's $I = 0,232$). A maioria dos pontos estava concentrada ao redor do centro, sugerindo que muitos municípios não apresentavam uma autocorrelação espacial forte entre degradação ambiental e área plantada. Isso indica que, em 2002, a relação entre esses dois indicadores era moderada, com alguns municípios apresentando altos ou baixos valores de ambos os indicadores próximos uns dos outros. Foram localizados 12 *outliers*, todos eles classificados como Alto-Baixo.

Em 2012, o diagrama de dispersão apresentou um valor de Moran's I ligeiramente superior a 2002, com 0,244. A autocorrelação espacial positiva moderada continuou a ser observada, com a maioria dos pontos concentrada ao redor do centro. A semelhança na distribuição dos pontos entre 2002 e 2012 sugere uma persistência na relação espacial entre degradação ambiental e área plantada, embora tenha havido um pequeno aumento na intensidade dessa relação. Foram localizados 9 *outliers*, todos eles classificados como Alto-Baixo.

O diagrama de dispersão do Índice de Moran para 2022 apresentou um valor de Moran's $I = 0,260$, indicando uma autocorrelação espacial positiva moderada, ligeiramente superior à observada nos anos anteriores. Essa tendência pode ser percebida na inclinação da reta de regressão, que se tornou mais acentuada ao longo do tempo, sinalizando um fortalecimento da correlação espacial entre os municípios. A distribuição dos pontos permaneceu concentrada em torno da média, embora com alguns casos mais dispersos, sugerindo uma

leve intensificação da relação espacial entre a degradação ambiental e a área plantada. Essa mudança pode indicar que, com o passar dos anos, a associação espacial entre esses dois indicadores tem se tornado mais evidente em determinadas regiões. Foram identificados cinco *outliers*, todos classificados como Alto-Baixo.

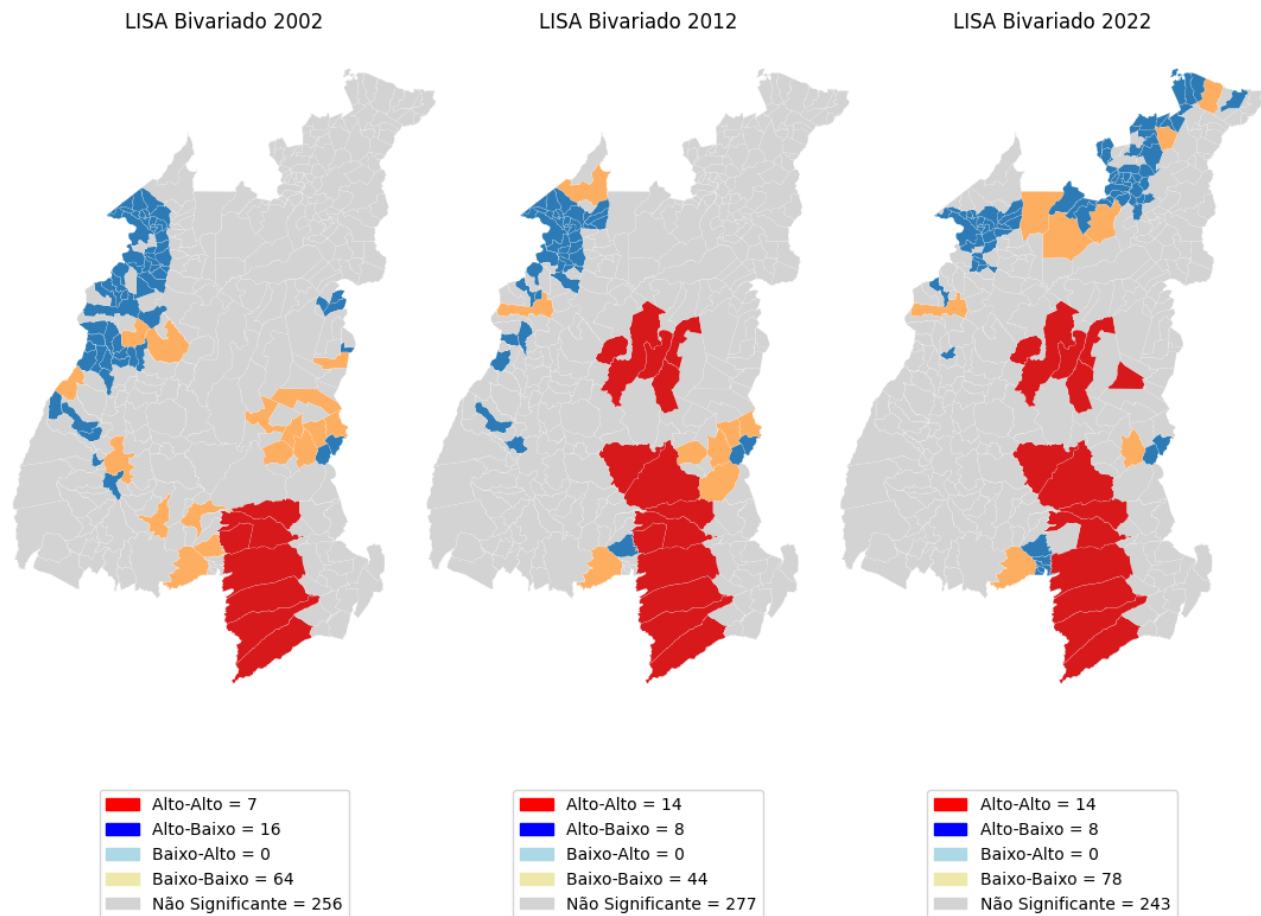
Figura 5 – Diagrama de dispersão de Moran de área colhida x degradação ambiental para os anos de 2002, 2012 e 2022, respectivamente



Fonte: Elaborado com base em IBGE (2022) e MapBiomias (2022).

Na Figura 6 pode-se observar que em 2002, o mapa de agrupamentos espaciais gerado pelo Índice de Moran revelou que 256 municípios foram classificados como "não significativos", indicando que não havia uma associação espacial significativa entre degradação ambiental e valor de produção agrícola nesses locais. Essa ausência de correlação pode ser vista em alguns casos em que a atividade agrícola ainda não havia se expandido a ponto de causar impactos ambientais de grande escala, como observado por Carvalho e Domingues (2016), que analisaram a dinâmica econômica do desmatamento e apontaram que, no início dos anos 2000, a expansão acelerada da fronteira agrícola do Cerrado e do MATOPIBA ainda estava em fase inicial de consolidação, com os impactos ambientais de grande escala espacialmente limitados a polos de investimento e produção. Foram identificados 7 municípios como Alto-Alto, caracterizados por altos níveis de degradação ambiental e alto valor de produção agrícola, configurando "hotspots" de intensificação agrícola associada à degradação ambiental. Esse padrão é consistente com os achados de Sano *et al.* (2019), que evidenciam que a expansão da fronteira agrícola no Cerrado, impulsionada pela soja e outros *commodities*, concentra o desmatamento e o uso intensivo de insumos em áreas específicas, gerando focos de alta pressão ambiental. Além disso, 64 municípios foram classificados como Baixo-Baixo, apresentando baixos níveis de degradação ambiental e baixo valor de produção agrícola, sugerindo zonas bem preservadas. Perfecto e Vandermeer (2015) discutem que essas áreas bem preservadas geralmente estão associadas a práticas agrícolas menos intensivas ou à presença de áreas protegidas, permitindo uma coexistência mais equilibrada entre uso da terra e conservação ambiental.

Figura 6 – Mapa de agrupamento LISA de valor da produção x área colhida para os anos de 2002, 2012 e 2022, respectivamente



Fonte: Elaborado com base em IBGE (2022) e MapBiomas (2022).

Não foram identificados municípios na categoria Baixo-Alto. Foram identificados 16 municípios como Alto-Baixo, com altos níveis de degradação ambiental e baixo valor de produção agrícola, indicando possíveis anomalias ou fatores não relacionados diretamente à atividade agrícola. Alencar, Azevedo e Conciani (2021) indicam que esses municípios podem ter sido afetados por práticas agrícolas não sustentáveis, como o uso indiscriminado do fogo para limpeza de áreas para pastagem, um fator que pode contribuir para a degradação sem que o valor de produção agrícola seja elevado.

Em 2012, o mapa de agrupamentos espaciais mostrou 277 municípios classificados como "não significativos", mantendo a tendência de ausência de associação significativa entre degradação ambiental e valor de produção agrícola na maior parte das regiões. Sambuichi *et al.* (2012) enfatiza que, embora o crescimento da produção agrícola no Cerrado seja significativo, a relação entre produção e degradação ambiental não é uniforme e, no início da década, a existência de políticas como o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) incentivavam práticas que buscavam desvincular o aumento da produtividade da necessidade de novas conversões, resultando em padrões de impacto espacialmente heterogêneos. O número de municípios na categoria Alto-Alto aumentou de 7 para 14, praticamente dobrando em relação a 2002, o que indica uma intensificação dos focos de

degradação ambiental associada a altos valores de produção agrícola. Por outro lado, a categoria Baixo-Baixo apresentou uma queda de 64 para 44 municípios, revelando uma redução nas zonas bem preservadas, possivelmente devido ao avanço da fronteira agrícola. Não foram identificados municípios na categoria Baixo-Alto, enquanto a categoria Alto-Baixo diminuiu para 8 municípios, sugerindo que, embora a relação entre atividade agrícola e degradação ambiental esteja se tornando mais evidente, ainda há exceções em áreas onde a agricultura não é o principal fator de degradação.

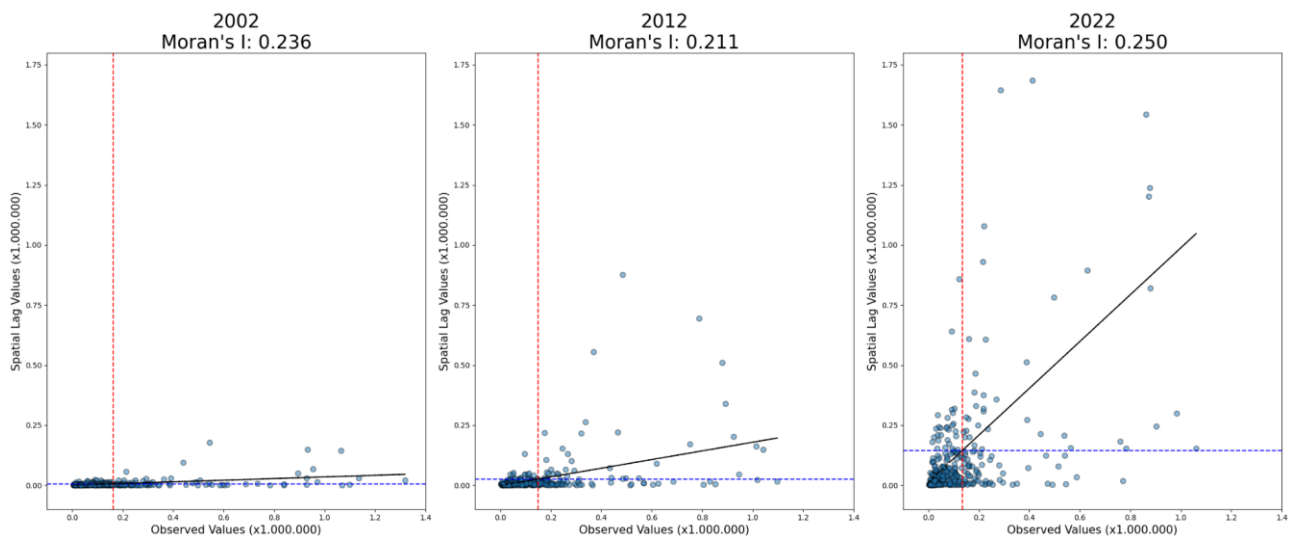
Em 2022, o mapa de agrupamentos espaciais identificou 243 municípios como "não significativos", refletindo uma predominância de ausência de relação significativa entre degradação ambiental e valor de produção agrícola. Suela *et al.* (2024) concluem que, no contexto do Cerrado/MATOPIBA, o Novo Código Florestal (NCF) não tem sido eficaz na proteção das florestas, e apontam a necessidade urgente de políticas públicas mais rigorosas e adaptadas às especificidades do bioma para reverter o cenário de degradação, o que reforça que a ausência de correlação em certas áreas está ligada a uma insuficiência na regulação ambiental geral. O número de municípios na categoria Alto-Alto manteve-se em 14, como observado em 2012, indicando a persistência de áreas com alta concentração de degradação ambiental associada a alto valor de produção agrícola. Alencar, Azevedo e Conciani (2021) indicam que essas áreas de alta degradação estão geralmente associadas ao crescimento das monoculturas e à expansão de grandes propriedades agropecuárias. O número de municípios classificados como Baixo-Baixo aumentou para 78, indicando uma recuperação ou preservação de algumas zonas, possivelmente impulsionada por políticas mais eficazes de controle do desmatamento e incentivo à agricultura sustentável. Esse aumento é expressivo, especialmente quando comparado ao ano de 2002, refletindo avanços consistentes na preservação ambiental em determinadas regiões. Não foram identificados municípios na categoria Baixo-Alto, mantendo o padrão observado nos anos anteriores e sugerindo que os municípios com alta produção agrícola raramente apresentam baixa degradação ambiental de forma isolada. O número de municípios na categoria Alto-Baixo permaneceu em 8, indicando uma estabilidade nas áreas com alta degradação ambiental e baixo valor de produção agrícola, o que pode refletir a permanência de práticas não sustentáveis em regiões onde a agricultura intensiva ainda não se consolidou como principal atividade econômica.

O diagrama de dispersão, na Figura 7, do Índice de Moran para 2002 indicou uma autocorrelação espacial positiva moderada (Moran's $I = 0,236$). A maioria dos pontos estava concentrada ao redor do centro, sugerindo que muitos municípios não apresentavam uma autocorrelação espacial forte entre degradação ambiental e valor de produção agrícola. Isso indica que, em 2002, a relação entre esses dois indicadores era moderada, com alguns municípios apresentando altos ou baixos valores de ambos os indicadores próximos uns dos outros.

Em 2012, o diagrama de dispersão apresentou um valor de Moran's I de 0,211, ligeiramente inferior ao observado em 2002, ainda indicando uma autocorrelação espacial positiva moderada. Apesar da queda no índice, a linha de tendência mostrou-se mais inclinada, resultado do aumento significativo no número de municípios classificados como

Alto-Alto, que dobrou em relação a 2002. Essa maior angulação sugere que, mesmo com uma leve redução na intensidade global da autocorrelação, as áreas de alta degradação ambiental associadas a altos valores de produção agrícola tornaram-se mais concentradas espacialmente. A distribuição dos pontos manteve-se relativamente semelhante à de 2002, com a maioria ainda próxima ao centro, mas com sinais de que as dinâmicas espaciais começaram a se intensificar em determinados polos de produção.

Figura 7 - Diagrama de dispersão de Moran de valor da produção x degradação ambiental para os anos de 2002, 2012 e 2022, respectivamente



Fonte: Elaborado com base em IBGE (2022) e MapBiomias (2022).

O diagrama de dispersão do Índice de Moran para 2022 apresentou um valor de Moran's $I = 0,250$, indicando uma autocorrelação espacial positiva moderada. Esse valor representa uma mudança expressiva em comparação com os anos anteriores, refletindo um aumento considerável na intensidade da associação espacial entre degradação ambiental e valor de produção agrícola. Observou-se uma angulação muito mais acentuada no diagrama, com maior inclinação da linha de tendência, evidenciando que a correlação espacial entre os dois indicadores se tornou mais evidente. Embora a maioria dos pontos ainda permaneça concentrada ao redor do centro, a presença de pontos mais dispersos sugere uma intensificação da influência mútua entre produção agrícola e degradação ambiental em determinados municípios. Essa mudança pode indicar uma consolidação de padrões territoriais onde o avanço agrícola tem se sobreposto a áreas ambientalmente sensíveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a distribuição espacial da degradação ambiental na região do MATOPIBA ao longo de três momentos temporais (2002, 2012 e 2022), correlacionando a degradação com a expansão agrícola e o valor da produção agropecuária. A análise espacial

revelou que a degradação ambiental não ocorre de maneira homogênea, mas está concentrada em áreas específicas, particularmente no sul do Maranhão e no extremo oeste da Bahia. Essas áreas têm sido identificadas como "hotspots" de intensificação agrícola, associadas diretamente à conversão de terras para a produção agrícola em larga escala, especialmente soja e pecuária. Este padrão espacial corrobora as análises de Alves (2020), que discute como a agricultura de grãos e a pecuária têm se expandido de forma não sustentável nas áreas do Cerrado, intensificando a degradação dos ecossistemas.

A correlação positiva moderada entre os níveis de degradação ambiental e a área plantada, bem como o valor da produção agrícola, sugere que o crescimento da agropecuária no MATOPIBA tem contribuído para a degradação do meio ambiente. Os resultados indicam que a expansão das monoculturas e a crescente área destinada à pecuária não estão sendo acompanhadas de forma eficaz por políticas ambientais que mitiguem seus impactos. A relação entre a degradação e a produção agrícola se alinha com os achados de Strassburg *et al.* (2017), que alertaram sobre o "momento decisivo para o hotspot Cerrado" e evidenciaram o aumento da pressão sobre os recursos naturais, especialmente a água, à medida que a fronteira agropecuária avança, tornando o Cerrado uma das regiões mais afetadas pela transformação acelerada do uso da terra.

Além disso, a análise dos índices de Moran univariado e bivariado aponta para a necessidade de intervenções mais direcionadas nas áreas com alta concentração de degradação ambiental. A existência de áreas de alta degradação e baixo valor de produção agrícola, como os municípios da categoria Alto-Baixo, sugere que além dos fatores diretamente relacionados à agricultura, existem também práticas como o uso do fogo para limpeza das áreas agrícolas, conforme abordado por Machado (2012).

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o uso de sistemas agroflorestais, recuperação de áreas degradadas e a implementação de tecnologias agrícolas mais eficientes, é fundamental para reverter a tendência de degradação crescente no MATOPIBA. Tavares, Andrade e Coutinho (2003) reforçam a importância dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) como estratégias que, além de serem uma alternativa de reabilitação com melhor qualidade ambiental, podem ter o custo de implantação pago em um curto período com a produção agrícola, comprovando a sua capacidade de restaurar solos degradados enquanto mantêm a produção. A plataforma MapBiomas, usada para gerar os dados de degradação ambiental, se mostrou um recurso essencial para o monitoramento contínuo e a implementação de políticas mais precisas e adaptadas às realidades locais, como evidenciado pelo Relatório Anual do Desmatamento (RAD) do MapBiomas (2024). Essa plataforma tem o potencial de fornecer dados atualizados que são cruciais para o planejamento e a fiscalização de ações de recuperação ambiental.

Por fim, este estudo ressalta a urgência de uma integração mais eficaz entre as políticas de desenvolvimento agrícola e as de preservação ambiental no MATOPIBA. O fortalecimento das políticas públicas e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis são medidas essenciais para alcançar um equilíbrio entre a expansão econômica e a conservação ambiental. A experiência do MATOPIBA pode servir como um modelo para outras regiões do

Cerrado, como sugerido por Barros e Stege (2019), que discutem como a articulação entre governo, produtores e sociedade pode ser um caminho eficaz para garantir a sustentabilidade da agricultura sem comprometer os recursos naturais. A continuidade de estudos nesse campo é necessária para adaptar as estratégias às mudanças climáticas e ao aumento contínuo da demanda por alimentos, de forma a garantir que a região do MATOPIBA se desenvolva de maneira sustentável e resiliente.

REFERÊNCIAS

ALVES, V. E. L. Expansão do Agronegócio e os Impactos Socioambientais na Região de Cerrados do Centro-Norte do Brasil (MATOPIBA). **Confins**, n. 45, 2020. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/28049>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ALENCAR, A.; AZEVEDO, T.; CONCIANI, D. E. **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. MapBiomias Degradation. Module BETA. Version 1, 2024.

ARAÚJO, E. C. de; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agro meteorológicas na região oeste do estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 286-299, 2014.

BARROS, P. H. B. de; STEGE, A. L. Deforestation and human development in the Brazilian agricultural frontier: an environmental Kuznets curve for MATOPIBA. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 2, p. 161-182, 2019.

BELCHIOR, E. B.; ALCANTARA, P. H. R.; BARBOSA, C. F. Perspectivas e desafios para a região do Matopiba. **Fronteira Agrícola**, n. 16, 3 p., 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1065435/1/CNPASA2017fa16.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BRASIL. Decreto n.º 8.447, de 6 de maio de 2015. Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação de seu Comitê Gestor. **Diário Oficial da União**, Seção 1, n. 85, p. 2, Brasília, 7 maio 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8447.htm. Acesso em: 24 jun. 2025.

CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P. Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia Legal brasileira entre 2006 e 2030. **Nova Economia**, v. 26, p. 585-621, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/ZCxtXxGQ9Pvd3c7H9Gv4zxR/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

FREITAS, A. C. R. de; SILVA, F. B. Novas dinâmicas econômicas e espaço-temporais na fronteira agrícola maranhense situada no Cerrado Brasileiro. **Métodos de análise e desenvolvimento do território**, p. 4731-4743, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1041626/1/p.47314743FREITASeS>

ILVA2013.Novasdinamicaseconomicasnafronteiraagricolap.47314741.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025.

HORVAT, R.; WATANABE, M.; YAMAGUCHI, C. K. Fertilizer consumption in the region MATOPIBA and their reflections on Brazilian soybean production. **International Journal of Agriculture and Forestry**, v. 5, n. 1, p. 52-59, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática** – SIDRA. 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 jul. 2024.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, jun. 2005. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>. Acesso em: 1 maio 2025.

LIMA, K. K. S. de; SILVA, M. T.; BRAGA, C. C.; FONTGALLAND, I. L.; SOUSA, W. G. de. Dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura do solo na região do MATOPIBA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, p. 281-296, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/258593>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MACHADO, C. A. Desmatamentos e Queimadas na Região Norte do Estado do Tocantins. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 43, p. 217-229, 2012. DOI: [10.14393/RCG134316609](https://doi.org/10.14393/RCG134316609). Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16609>. Acesso em: 1 maio. 2025.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>. Acesso em: 01 jul. 2024.

MAPBIOMAS. **RAD2023**: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023. São Paulo, Brasil. 2023. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2024/10/RAD2023_COMPLETO_15-10-24_PORTUGUES.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025.

MAPBIOMAS. **RAD2024**: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024. São Paulo, Brasil. 2024. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/05/RAD2024_15.05.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025.

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. **Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA**. Embrapa, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1037313/1/NT1DelimitacaoMatopiba.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. **Coffee agroecology: a new approach to understanding agricultural biodiversity, ecosystem services and sustainable development**. Routledge, 2015.

RIBEIRO, L. C. de S.; LÔBO, A. S.; SILVA, L. D. da.; ANDRADE, N. F. S. Padrões de crescimento econômico dos municípios do MATOPIBA. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 3. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.212613>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/Z3vsG5Tjc5nXDJ9CT8Ld7Sv/#>. Acesso em: 24 jun. 2024.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN, G. **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios**. IPEA, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/48660c96-33bb-490b-9551-2d18e2a0f4c2/content>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SANO, E. E. *et al.* Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/GQYcBYK993bQksGszxwksf/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution** **1**, n. 99, 2017. Disponível em: https://www.iis-rio.org/wp-content/uploads/2019/10/Moment_of_truth_for_the_Cerrado_Hotspot_1.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025

SUELA, A. G. L. *et al.* Impactos do novo código florestal no bioma cerrado: foco no MATOPIBA. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 9, p. 1-29, 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/download/8194/4947/2> 2009. Acesso em: 10 nov. 2025.

TAVARES, S. R de L.; ANDRADE, A. G. de; COUTINHO, H. L. da C. Sistemas agroflorestais como alternativa de recuperação de áreas degradadas como geração de renda. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 220, p. 73-80, 2003. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/337721/1/Sistemas-agroflorestais-como-alternativa-de-recuperacao-de-areas-degradadas-2003.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.